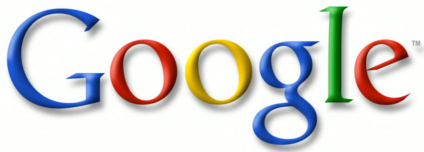


Intensität und atmosphärische Absorption aktinischer Sonnenstrahlen.

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät
der Königl. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

vorgelegt von

Carl Masch,
Assistent am physikalischen Institut.

Opponenten:

Herr Dr. med. **Reinh. Drixelius,** prakt. Arzt.
„ **Franz Lindig,** cand. math.
„ **Carl Ramsauer,** cand. math.

Kiel 1901.
Druck von Schmidt & Klaunig.

Separat-Abdruck aus: Schriften des Naturwissenschaftlichen Vereins für Schleswig-Holstein. Band XII Heft 2.

Einleitung.

Zahlreich und mannigfaltig sind die Untersuchungen, die zur Ermittlung der Intensität des Sonnenlichtes, wie sie uns ausserhalb der Atmosphäre erscheinen würde, angestellt wurden; jedoch stimmen die bisher hierfür gefundenen Zahlen wenig überein. In engem Zusammenhange mit dieser Aufgabe steht die Frage nach dem Absorptionsvermögen der Atmosphäre; denn um jene Solarkonstante zu ermitteln, muss man das Absorptionsvermögen der Atmosphäre kennen. Auch hierüber finden sich zahlreiche Beobachtungen, die schon im vorigen Jahrhundert angestellt und bis in die neueste Zeit hinein fortgesetzt wurden. Die Ergebnisse dieser Beobachtungen stimmen besser überein als die vorhin genannten. Bei diesen Untersuchungen, die teils an der Sonne, teils an Sternen ausgeführt sind, wurde meistens durch Messung bei verschiedenen Höhen die Gesamtenergie des betreffenden Himmelskörpers in Betracht gezogen. Erst in neuerer Zeit wurde das Absorptionsvermögen der Atmosphäre für bestimmte Teile des Spektrums zu ermitteln gesucht.

Alle Untersuchungen, die zur Auffindung der Solarkonstante und des Absorptionsvermögens der Atmosphäre gemacht wurden, lassen sich, der verschiedenen Art der Sonnenstrahlung entsprechend, in drei Gruppen teilen:

a) Untersuchungen zur Ermittlung der Absorption der Wärmestrahlen und der Temperatur der Sonne.

Eine genaue Darstellung der einschlägigen Messungen und der erlangten Resultate wurde von K. Remeis [1]) und später von O. Chwolson [2]) gegeben.

b) Untersuchungen über die Extinktion der optisch hellen. Strahlen der Sonne durch die Atmosphäre und zur Ermittelung der betreffenden Solarkonstante.

Über die Schwächung, welche die optische Intensität des Sonnenlichtes beim Passieren der Atmosphäre erleidet, berichtet Eder in seinem „Jahrbuche der Photographie“ Kap. 7: „Setzt man die Intensität des Lichtes vor seinem Eintritte in die Atmosphäre gleich 1, so ist jene optische Lichtmenge, welche nach dem Durchgange durch die Atmosphäre bei senkrechter Durchstrahlung noch an der Erdoberfläche ankommt, nach

Bouguer	0.8123;
Lambert	0.589;
Seidel . . . . ,	0.7942;
Trépied	0.880.“

Während bei diesen Beobachtungen stets die Änderung der Gesamtheit der Lichtstrahlen in Betracht gezogen wurde, erstreckten sich die neueren Untersuchungen nur auf einen geringen Teil des Sonnenspektrums. Dies wurde entweder dadurch erreicht, dass man ein Sonnenspektrum entwarf und von diesem einen beliebig schmalen Streifen beobachtete, oder dadurch, dass vor das Auge des Beobachters ein farbiges, möglichst monochromatisches Glas gebracht wurde. Auf diese Weise konnte man die Änderung von Strahlen bestimmter Wellenlänge beobachten.

Müller in Potsdam [1]) nahm für die Änderung der scheinbaren Helligkeit des Sonnenlichtes die Lambertsche Gleichung

$$S = A \, . \, p^{\sec z}$$

als richtig an, wo S die scheinbare Sonnenhelligkeit an der Erdoberfläche, A die Sonnenhelligkeit ausserhalb der Atmosphäre, p den Transmissionskoeffizienten der Luft und z die Zenithdistanz

---

[1]) K. Remeis. Die Strahlung und die Temperatur der Sonne. Köln und Leipzig 1881.

[2]) O. Chwolson. Über den gegenwärtigen Zustand der Aktinometrie. Repert. für Meteor. 15. 1892.

[1]) G. Müller. Untersuchungen über die Helligkeitsänderungen in den verschiedenen Teilen des Sonnenspektrums bei abnehmender Höhe der Sonne über dem Horizont. Astr. Nachr. Bd. 103. 1882.

der Sonne bedeutet. Bei seinen Versuchen benutzte er das Glan-Vogelsche Spektralphotometer und fand als Transmissionskoeffizienten der Atmosphäre für die einzelnen Wellenlängen λ:

$\lambda . 10^6$	p
666	0.885
598	0.819
550	0.782
486	0.723
462	0.681
442	0.640

Hiernach ist also der Transmissionskoeffizient p für die einzelnen Farben verschieden und nimmt für die mehr brechbaren Strahlen ab. Als Transmissionskoeffizient der gesamten Lichtstrahlung der Sonne berechnete Müller p = 0,8250.

Crova und Lagarde[1]) beobachteten ebenfalls nur die Änderung eines Teiles des Sonnenspektrums und suchten die Sonnenenergie für eine dem hellen Teile des Spektrums entsprechende Farbe, nämlich für grün, zu bestimmen. Indem sie duch eine monochromatische Flüssigkeit hindurch die Helligkeit der Sonne mit der einer Carcellampe verglichen, berechneten sie die Intensität des Sonnenlichtes auf etwa 8500 Carcels.

Carl Michalke[2]), der mit Hülfe des Weberschen Milchglasplattenphotometers Sonnenbeobachtungen für rotes und grünes Licht anstellte, fand die Lambertsche Gleichung auch für nicht völlig homogenes Licht bestätigt und berechnete die Solarkonstante für rotes Licht ($\lambda = 630.6$) A = 43960 Hefnerkerzen. Als Transmissionskoefficienten an klaren Tagen fand er

für rotes Licht p = 0,7952;
für grünes Licht p = 0,7211.

Die Gültigkeit der von Müller und Crova gefundenen Resultate wurde von Langley[3]) in Zweifel gezogen. Langley mass mittelst des von ihm konstruierten Bolometers die Änderung der

[1]) Comptes rendus Txcv pag. 1271 und Txcvii p. 124.

[2]) Carl Michalke. Untersuchungen über die Extinktion des Sonnenlichtes in der Atmosphäre. Inaug. Dissert. Breslau 1886.

[3]) Langley. Über den Betrag der atmosphärischen Absorption (Phil. Mag. vol. XVIII 1884) übersetzt im Repert. der Physik. Bd. 21 1885.

Gesamtenergie bei einzelnen Sonnenhöhen. Er erklärt die Annahme eines einheitlichen Absorptionsverhältnisses für unzulässig, indem er von der Thatsache ausgeht, dass die Lambertsche Gleichung nur für völlig homogene Strahlen gelten könne. Die Sonnenenergie, sei es in ihrer Gesamtheit als Wärme oder chemische Wirkung, oder in einem ihrer Teile als Licht betrachtet, ist die Summe einer unendlichen Anzahl von Strahlungen, die durch die verschiedenen Bestandteile der Atmosphäre unbegrenzt verschieden beeinflusst werden. Die Atmosphäre wirkt auf die Helligkeit des Sonnenspektrums „auswählend", was aus der Unzahl von tellurischen Linien im Spektrum zu ersehen ist. Nach Langley beträgt das Absorptionsvermögen der Erdatmosphäre mindestens 40 Prozent. Genaue photometrische Messungen zur Ermittlung der Absorptionsfähigkeit der Atmosphäre sind nach Langley überhaupt nicht möglich.

Um diese Behauptung Langley's, dass die Erdatmosphäre 40 Prozent des Sonnen- und Sternenlichtes absorbiere, zu prüfen, stellte G. Müller Helligkeitsbeobachtungen auf dem Säntis an und fand den Transmissionskoeffizienten der Atmosphäre gleich 0,842, also fast genau so gross wie bei den früheren Extinktionsbeobachtungen in Potsdam. Diesen beiden Bestimmungen konnte aber entgegen gehalten werden, dass sie mehrere Jahre auseinander lagen und an Orten ausgeführt waren, die unter ganz verschiedenen klimatischen Verhältnissen sich befinden, so dass das gleiche Luftverhältnis erst besonders hätte nachgewiesen werden müssen. Zur Beseitigung dieses Einwandes stellten G. Müller und P. Kempf[1]) gleichzeitige photometrische Messungen an auf dem Observatorium zu Catania und auf dem Aetna. Es ergab sich, dass die Luft 80 Prozent des auffallenden Lichtes absorbiere. Dies auffallende Resultat wurde von den Beobachtern auf den Umstand zurückgeführt, dass die Stadt Catania während der Beobachtungszeit in Rauch und Staubdunst eingehüllt war; daher war das Ergebnis unbrauchbar.

A. Bartoli und E. Stracciati[2]) geben als die einzige rationelle Formel für die Absorption der Lichtstrahlen in der Atmosphäre die Lambert-Pouillet'sche an

$$Q = A p^{\varepsilon}$$

[1]) G. Müller und P. Kempf. Untersuchungen über die Absorption des Sternenlichtes in der Atmosphäre, angestellt auf dem Aetna und in Catania. Naturw. Rundschau 13 1898.

[2]) A. Bartoli und C. Stracciati. Empirische Formel für die Absorption der Sonnenstrahlen in der Atmosphäre. Nuov. Cim. (3) 31 1892.

oder die genauere:

$$Q = A_1 p_1^{\varepsilon} + A_2 p_2^{\varepsilon} + \ldots\ldots,$$

wo Q die durch die Masse ε der Atmosphäre hindurchgehende Strahlung bedeutet. Aber A und p erweisen sich nicht als unabhängig von ε, so dass die ganze Beobachtungsreihe eines Tages durch jene Formel nicht mit genügender Genauigkeit dargestellt werden kann. Sie weisen nach, dass diesem Zwecke die empirische Formel $Q.\varepsilon^n = C$ genügt, wo C und n Constante sind.

c) Untersuchungen über die Absorption der chemisch wirksamen Strahlen der Sonne durch die Atmosphäre.

Über diese Art der Sonnenstrahlung sind erst verhältnismässig wenige Beobachtungen angestellt worden. Die fruchtbarsten Untersuchungen wurden von Bunsen und Roscoe[2]) in den 50er Jahren gemacht. Bei ihren Versuchen wurde das von ihnen konstruierte Chlorknallgasphotometer benutzt. Sie liessen bei wolkenlosem Himmel das Sonnenlicht, welches um einen bestimmten messbaren Wert abgeschwächt war, die ganze Fläche des Insolationsgefässes senkrecht durchsetzen. Zu diesem Zwecke liessen sie die durch einen Heliostaten gerichteten Sonnenstrahlen durch eine feine Öffnung in dünner Platte gehen und das dadurch erzeugte Sonnenbild auf das Insolationsgefäss so auffallen, dass die ganze Chlorwasserstoffschicht gleichmässig durchstrahlt war. Darauf wurde die Salzsäuremenge gemessen, welche das Licht der Sonne in einer Minute erzeugt hatte.

Hieraus fanden sie dann durch Rechnnng, dass die photochemische Wirkung W_0 des direkten Sonnenlichtes durch die Gleichung

$$W_0 = 318{,}3 \times 10^{-\frac{0.4758\, P}{\cos \varphi}}$$

ausgedrückt wird. In dieser Formel bedeuten die variablen Grössen P und φ den beobachteten Barometerstand und die Zenithdistanz der Sonne. Die Zahl 318.3 giebt die Intensität des direkten Sonnenlichtes an der oberen Grenze der Atmosphäre in „Lichtgraden" an, also in einer photometrischen Einheit, welcher die Wirkung des Lichtes auf Chlorknallgas zu Grunde gelegt ist. Die Zahl 0.4758 der Formel bedeutet eine durch Rechnung und Beobachtung für die Extinktion des direkten Sonnenlichtes in der Atmosphäre gefundene Constante. Diese beiden Zahlen haben aber nur Gültig-

[1]) Bunsen und Roscoe. Photochemische Untersuchungen, II. Hälfte. Ostw. Klassik. d. exact. Wiss.

keit für das violette bezw. ultraviolette Sonnenlicht, weil das Chlorknallgas ein Hauptmaximum der Empfindlichkeit bei den Linien $^1/_5$ G H bis H und ein zweites kleineres bei J besitzt. Die Bestimmungen von Bunsen und Roscoe geben also nur Aufschluss über die Absorption des violetten bezw. ultravioletten Sonnenlichtes, und zwar wurde für diese Strahlen gefunden, dass bei senkrechter Durchstrahlung der Atmosphäre 59.2 Prozent durch Extinktion verloren gehen.

W. Brennand[1]) benutzte bei seinen photochemischen Messungen der Sonne und des Himmels die Schwärzung lichtempfindlicher Papiere. Mit Hülfe seines Wasserbewegungsaktinometers hat er durch mehrjährige Beobachtungen die photochemische Wirkung der Sonne allein bei ganz klarem Himmel für verschiedene Sonnenhöhen und zwar für die ganzen Grade von 1 bis 90 Grad ermittelt und in einer Tabelle[2]) zusammengestellt.

Aus der Wirkung des Sonnenlichtes auf Mischungen von Eisenchlorid und Oxalsäure suchte G. Lemoine[3]) die Intensitäten der verschiedenen Teile des Spektrums zu ermitteln. Je grösser nämlich die Intensität des auffallenden Lichtes ist, um so schneller findet in einer solchen Mischung die exothermische Umsetzung zwischen Eisenchlorid und Oxalsäure statt. Mittels der Umsetzungsgeschwindigkeiten lassen sich also die Intensitäten verschiedener Lichtquellen vergleichen. Auf das Sonnenlicht angewandt ergab sich als Resultat seiner Untersuchungen: Die Intensität des gelben Lichtes beträgt, wenn die übrigen Strahlengattungen durch Kaliumbichromat absorbiert sind, nur $^1/_{1000}$ bis $^1/_{7000}$, die der blauen Strahlen nach Absorption der übrigen durch Kupferammoniak-Lösung etwa die Hälfte der gesamten Strahlungsintensität der Sonne.

Für die atmosphärische Extinktion der photographisch wirksamen Strahlen der Sterne hatte Schäberle[4]) die empirische Interpolationsformel aufgestellt

$$B = B_0\left[1 - f.\operatorname{tg}\left(\frac{z}{12}\right)^2\right]^2,$$

[1]) W. Brennand. Photometrische Beobachtungen der Sonne und des Himmels. Nat. 46 1892.

[2]) Nature 43 p. 237.

[3]) G. Lemoine. Messung der Lichtintensität durch die durch die Lichtstrahlen hervorgerufene chemische Wirkung. Versuche mit Eisenchlorid und Oxalsäure. C. R. 120 1895.

[4]) Terrestrial atmospheric absorption of the photographic rays of light. Contrib. from the Lick observatory Nr. 3. Sacramento 1893.

worin B und B_0 die photographischen Sterngrössen in der Zenithdistanz z und im Zenith sind und f eine Constante bedeutet, die nur von dem jeweiligen Zustande der Atmosphäre abhängen soll.

E. v. Oppolzer [1]) zeigte nun, dass diese Formel zu sehr empirisch aufgebaut sei und bei geringen Zenithabständen zu starke Absorptionen liefere. Indem er nun unter Berücksichtigung der Untersuchungen von Müller und Langley [2]), dass die Atmosphäre die brechbareren Strahlen stärker auslösche, dass die Absorption der roten Strahlen etwa 10 Prozent betrage, die der brechbarsten bis zu 40 Prozent ansteige, voraussetzte, dass auf die photographische Platte vornehmlich Licht eines beschränkten Wellenbezirkes wirke, leitete er für die Extinktion des Lichtes in der Atmosphäre die Formel ab

$$f\,(D_z) = f\,(D_0) + k\,.\,\Delta m_z,$$

wo D_z und D_0 die Durchmesser eines in der Zenithdistanz z und im Zenith aufgenommenen Sternes bedeuten. k ist eine Konstante der photographischen Extinktion, die aber nicht allein von der Luftbeschaffenheit, sondern auch von der Plattensorte abhängt; Δm_z ist ein Ausdruck, der die Zenithreduktion enthält.

Mittels dieser Formel diskutierte v. Oppolzer nun unter Zuhülfenahme der von Müller aus seinen Säntis-Beobachtungen aufgestellten Tabelle die Beobachtungen von Schäberle und fand in kleineren Zenithdistanzen ungleich schwächere Extinktionen wie Schäberle.

Ferner ergab sich, dass die photographischen Extinktionsgrössen proportional den optischen sind für verschiedene Zenithdistanzen und zwar nahezu doppelt so gross. Dasselbe Resultat hatte auch Scheiner [3]) aus ähnlichen Überlegungen auf theoretischem Wege gefunden. Nach diesem Ergebnis erhielt v. Oppolzer, indem er nach Müller den optischen Transmissionskoeffizienten zu 0,83 annahm, für den photographischen den Wert 0,69. Es werden demnach von den optischen Strahlen etwa 20 Prozent, von den photographischen ungefähr 30 Prozent durch die Atmosphäre absorbiert.

---

[1]) E. v. Oppolzer. Die photographische Extinktion. Sitzungsber. der Akad. der Wiss. zu Wien. 107 Abt. II pag. 1477 - 93. 1898.

[2]) Müller. Die Photometrie der Gestirne. 1897.

[3]) Scheiner. Die Photographie der Gestirne. 1897.

M. Andresen [1]) suchte mit Hülfe eines von ihm konstruierten Aktinometers, dessen wesentlichen Bestandteil das Scheiner'sche Universalsensitometer [2]) bildete, die Gesetzmässigkeiten zu ermitteln, nach welchen die Extinktion der verschiedenen Strahlengattungen des direkten Sonnenlichtes in der Erdatmosphäre erfolgt. Zu diesem Zwecke bediente er sich der sensibilisierten Normalpapiere. Es gelang ihm, haltbare, direkt kopierende Papiere herzustellen, welche das Maximum der Empfindlichkeit in einer beliebigen Region des Spektrums, vom roten Ende bis ins blaue hinein, besassen. Diese Papiere wurden eine bestimmte Zeit hindurch in seinem Aktinometer belichtet und die Nummer der Skala festgestellt, bei welcher eine Anfangswirkung noch wahrnehmbar war.

Zunächst untersuchte er die stärker brechbaren Strahlen des direkten Sonnenlichtes. Als Normalpapier wurde diesen Massbestimmungen Chlorsilberpapier zu Grunde gelegt, das unter Anwendung von Natriumnitrit haltbar gemacht, ein Maximum der Empfindlichkeit für eine zwischen den Linien F und G belegene Partie des Spektrums zeigte. Für die Auswertung seiner Beobachtungen wandte er die Formel von Bunsen-Roscoe an:

$$W_0 = A\,10^{-\frac{\alpha\,P}{\cos\varphi}}.$$

W_0, P und φ waren durch die Beobachtungen gegeben. Die beiden zu suchenden Konstanten A und α konnten durch zwei Gleichungen ermittelt werden. Er fand A = 4715; $\alpha = 0{,}296$. Für $\varphi = 0$ d. h. für den Fall senkrechter Durchstrahlung der Atmosphäre und $P = 0{,}760$ m ergab sich, dass 40,4 Prozent des Sonnenlichtes durch Extinktion in der Atmosphäre verloren gehen.

Das Verhältnis der Wirkung der Sonne an der Grenze der Atmosphäre zu der Wirkung nach senkrechter Durchstrahlung der Luft berechnete er zu 1,678. Einen nahezu gleichen Wert, nämlich 1,700 hatte J. Vallot [3]) auf anderem Wege durch Beobachtungen in Chamonix und auf dem Mont-Blanc gefunden.

Bei der Untersuchung der optisch hellsten Strahlen des Sonnenlichtes bediente sich Andresen des Rhodamin-Bromsilberpapieres. Dasselbe besitzt ein ausgeprägtes Maximum der Empfindlichkeit für die Strahlen des Spektrums bei der D Linie. Ein zweites Maximum, welches bei längerer Belichtung sichtbar wird, liegt im stärker

[1]) M. Andresen. Zur Aktinometrie des Sonnenlichtes. Photogr. Corresp. 1898.
[2]) Zeitschrift für Instrumentenkunde. Juni 1894.
[3]) Annales de l'observat. météorolog. du Mont-Blanc. Tome II 115.

brechbaren Teile des Spektrums. Um die Wirkung des letzteren mit Sicherheit auszuschliessen, wurde ein Strahlenfilter eingeschaltet, bestehend aus einer Lösung von 2 g. Auramin 0 in 100 cm^3 Alkohol, welches das stärker brechbare Ende des Spektrums absorbierte. Zur Berechnung des Extinktionskoeffizienten dienten zwei Versuchsreihen, die aber nicht das gleiche Endergebnis lieferten. Er fand, dass die optisch hellsten Strahlen bei senkrechtem Passieren der Atmosphäre von ihrer oberen Grenze bis zum Meeresniveau eine Schwächung von 17,2 bezw. 8,5 Prozent erfahren, vielleicht noch weniger in einer ideal klaren Atmosphäre.

Endlich untersuchte Andresen noch die Absorption der roten Bestandteile des Sonnenlichtes in der Atmosphäre. Für diese Bestimmung verwendete er Bromsilberpapier, welches mittelst Rhododendron-Chlorophyl sensibilisiert war. Als Strahlenfilter zur Absorption des stärker brechbaren Teiles des Spektrums wurde eingeschaltet eine Lösung von 1 g. Auramin 0 in 50 cm^3 Alkohol vermischt mit 1 g. Rhodamin in 50 cm^3 Alkohol. Als Resultat ergab sich, dass bei $P = 0{,}760$ m und bei senkrechter Durchstrahlung der Atmosphäre 18 Prozent der roten Strahlen durch Extinktion verloren gehen.

Da die Anzahl der von Andresen angestellten Beobachtungen nur sehr gering ist, so können auch die oben mitgeteilten Resultate, wie er selbst zugiebt, keinen allzu grossen Anspruch auf Richtigkeit machen. Einen wirklich brauchbaren Mittelwert der Absorptionskonstante wird man infolge der wechselnden Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Lichtstrahlen erst durch eine sehr grosse Anzahl von Versuchsreihen erlangen können.

Meine Untersuchungen haben nun den Zweck, eine auf die Hefnerkerze als Einheit bezogene Auswertung derjenigen Sonnenstrahlung zu liefern, welche für Bromsilber wirksam ist, und zugleich die Gesetzmässigkeiten zu ermitteln, nach welchen die Absorption dieser Strahlen durch die Atmosphäre an klaren Tagen erfolgt. Hieraus ist dann der Transmissionskoeffizient der Atmosphäre und die entsprechende Solarkonstante zu berechnen.

Nach den Ergebnissen der Untersuchungen von Scheiner und v. Oppolzer verläuft die photographische Extinktion der Gestirne durch die Atmosphäre für verschiedene Zenithdistanzen proportional der Extinktion der optisch hellen Strahlen. Für die

Absorption der letzteren aber wird als einzige rationelle Formel die Lambert-Pouillet'sche Gleichung

$$S = A . p^{\sec z}$$

allerdings unter gewissen Einschränkungen fast allgemein als richtig anerkannt. Zunächst ist bei der Ableitung der Formel die Voraussetzung gemacht, dass die Zenithdistanz kleiner als 80 Grad sei. Sie hat also für geringe Sonnenhöhen keine Gültigkeit. Ferner gilt sie nach Langley strenge nur für völlig homogenes Licht, wenn sämtliche beobachteten Lichtstrahlen den gleichen Absorptionsfaktor besitzen. Für einen Strahlenkomplex ist

$$\Sigma s_1 = \Sigma a_1 p_1^{\sec z}.$$

Für den Transmissionskoeffizienten eines solchen Strahlenkomplexes einen genauen und für die Rechnung einigermassen bequemen Ausdruck zu finden, ist wegen der unsteten Änderung dieses Koeffizienten für die einzelnen Wellenlängen unmöglich. Für ein nicht zu grosses Gebiet des Sonnenspektrums kann man aber gleichwohl den Transmissionskoeffizienten als konstant annehmen, und für dieses gilt dann die Lambert'sche Gleichung. Dies hat Michalke für die roten und grünen Bestandteile des Spektrums nachgewiesen.

Da nun für die Wirkung des Sonnenlichtes auf Bromsilber auch nur ein geringer Teil des Spektrums und zwar ausschliesslich das stärker brechbare Ende des Spektrums in Betracht kommt, so habe ich für die Absorption dieser Strahlen die Lambert'sche Gleichung als gültig angenommen und meinen Berechnungen zu Grunde gelegt. Zeigt es sich nun, dass eine Reihe entsprechender Beobachtungen von S und z der Formel genügen, so ist offenbar der Schluss gerechtfertigt, dass die Gleichung ausreichend ist, einen bestimmten Wert für das Absorptionsvermögen der Atmosphäre sowie für die photochemische Sonnenenergie, wie sie ausserhalb der Atmosphäre wirken würde, zu liefern.

In der Lambert'schen Gleichung

$$S = A . p^{\sec z}$$

bedeutet jetzt S die Wirkung des Sonnenlichtes auf Bromsilber an der Erdoberfläche, A die Wirkung ausserhalb der Atmosphäre. Da letztere Gleichung

$$\log S = \log A + \sec z \log p$$

die Form hat

$$x - a - by = 0,$$

so erhält man nach der Methode der kleinsten Quadrate aus einer Beobachtungsreihe von n Beobachtungen:

$$\log A = \frac{\Sigma \sec z \,.\, \Sigma \log S \sec z - \Sigma \log S \,.\, \Sigma \sec^2 z}{(\Sigma \sec z)^2 - n\, \Sigma \sec^2 z};$$

$$\log p = \frac{\Sigma \sec z \,.\, \Sigma \log S - n\, \Sigma \sec z \log S}{(\Sigma \sec z)^2 - n\, \Sigma \sec^2 z}.$$

Beobachtungsmethode.

Das Prinzip, welches meinen Beobachtungen zu Grunde liegt, ist folgendes:

Die Wirkung des Lichtes auf Bromsilberpapier äussert sich bekanntlich durch grössere oder geringere Schwärzung des Papieres. Der Grad der Schwärzung ist, abgesehen von der zu eliminierenden Entwickelungszeit, abhängig von der Intensität des Lichtes und von der Dauer der Belichtung. Zwischen der Wirkung W, Intensität des Lichtes I und Expositionszeit T besteht die Beziehung:

$$W = I.\,T.$$

Dies Gesetz — Bunsen-Roscoe'sches Gesetz, auch photographische Reciprocitätsregel genannt — hat aber, wie W. Abney [1]) und J. M. Eder [2]) nachgewiesen haben, keine absolute Gültigkeit, sondern gilt nur für angenähert gleiche Expositionszeiten.

Um auf Grund dieses Gesetzes das Sonnenlicht mit der Hefnerkerze vergleichen zu können, wird die eine Hälfte des Bromsilberpapieres durch die Sonne während einer gewissen Zeit belichtet, hernach die andre Hälfte durch die Hefnerlampe und zwar nicht alle Teile gleichmässig eine bestimmte Zeit hindurch, sondern in stufenförmig zunehmenden Zeiträumen. Aus den entstandenen stufenförmigen Schwärzungen sucht man jetzt diejenige heraus, welche mit der homogenen Schwärzung der andern Hälfte des Papieres ganz oder nahezu übereinstimmt. Hierdurch findet man die Zeit, welche die Hefnerlampe nötig gehabt hat, um die gleiche Wirkung auf das Bromsilber hervorzurufen wie das Sonnenlicht.

Bezeichnet man mit W_1 die Wirkung des Sonnenlichtes auf Bromsilber, mit J_1 die Intensität des auffallenden Lichtes, mit t_1 die Expositionszeit, so ist

$$W_1 = J_1\, t_1 \,.\, k,$$

---

[1]) W. Abney. Chemische Wirkung und Exposition, oder das Versagen eines photographischen Gesetzes. Eders Jahrbuch der Photogr. 9. 1885 p. 149—18⁵.

[2]) J. M. Eder. System der Sensitometrie photographischer Platten. Wien 1899.

wo k eine von der Empfindlichkeit des Bromsilberpapieres abhängige Constante bedeutet. Ist ferner W_2 die Wirkung der Hefnerlampe auf Bromsilber, J_2 die Intensität des auf das Papier fallenden Lichtes der Hefnerlampe, endlich t_2 die Dauer der Belichtung, so ergibt sich

$$W_2 = J_2\, t_2 \,.\, k.$$

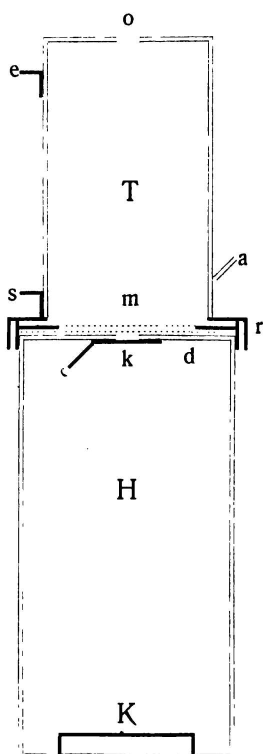
Nach obiger Schätzung sind nun die Wirkungen W_1 und W_2 einander gleich; folglich

$$J_1\, t_1 = J_2\, t_2.$$

Hierin ist J_1 die einzige unbekannte Grösse, da J_2 gleich der Lichteinheit dividiert durch das Quadrat des Abstandes ist. Es lässt sich also nach der entwickelten Methode die Intensität der auf das Bromsilber wirksamen Sonnenstrahlung bestimmen.

Apparate.

Für die Belichtung des Bromsilberpapieres durch Sonne und Hefnerkerze war zunächst eine besonders eingerichtete Kassette erforderlich. Dieselbe hatte eine Dimension von 9×12 Centimeter.



Der Schieber der Kassette war in zwei Hälften geteilt, von denen jede für sich mittelst Handgriffs bewegt werden konnte. Die eine Hälfte war an der Seite mit Sperrzähnen versehen, in welche von aussen ein federnder Zapfen hineingriff. Man konnte so den einen Schieberteil in bestimmten Zeitintervallen immer einen Centimeter weiter herausziehen und erhielt auf diese Weise auf der einen Hälfte des Bromsilberpapiers Felder mit zunehmender Belichtungszeit. Das Papier wurde mit einer hellen Glasscheibe überdeckt, um ein Verschieben desselben zu verhüten.

Zur Aufnahme der Kassette diente ein Kasten aus Holz H von 17 cm Länge, 13 cm Breite und 60 cm Höhe, der inwendig mit schwarzer Tapete überzogen war. Die Kassette K hatte ihren Platz auf dem Boden des Kastens.

Um eine messbare Vergleichung des Sonnenlichtes mit der Hefnerkerze überhaupt möglich zu machen, muss ersteres bedeutend

geschwächt werden. Dies konnte auf verschiedene Weise erreicht werden: durch Milchglasscheiben, Diaphragma, rotierende Sektorscheibe etc. Ich wählte als das einfachste Mittel zur Abschwächung eine Milchglasscheibe mit Diaphragma.

Der Kasten wurde durch einen Deckel d verschlossen, der in eine mit schwarzem Sammet ausgelegte Falz genau hineinpasste. In der Mitte des Deckels befand sich ein Diaphragma von 0,955 mm Durchmesser. Bei niedrigem Sonnenstande wurde ein etwas grösseres Diaphragma mit einem Durchmesser von 1,336 mm benutzt. Der Abstand des Diaphragmas von der Kassette betrug 0,592 m. Zum Verschlusse des Diaphragmas diente eine kleine Klappe k, die mit schwarzem Sammet belegt an einer Achse befestigt war. Die Achse ging lichtdicht durch die eine Wandung des Kastens hindurch und trug aussen einen Hebel, mittelst dessen die Klappe geöffnet und geschlossen werden konnte. Über dem Diaphragma lag in derselben Falz wie der Deckel d eine Milchglasscheibe m.

Um mich von der absoluten Unmöglichkeit eines Eindringens von Licht in das Innere des Kastens bei geschlossener Klappe zu überzeugen, wurde der Kasten mit halbgeöffneter Kassette während zweier Tage dem Tageslichte ausgesetzt. Es zeigte sich, dass auch nicht die Spur einer Schwärzung auf dem exponierten Teile des Bromsilberpapieres zu bemerken war.

Um bei den Messungen möglichst wenig diffuses Licht aus der Umgebung der Sonne mit in Rechnung zu ziehen, wurde auf den Kasten noch ein innen mit schwarzem Tapetenpapier ausgeklebter, vierseitiger Tubus T aufgesetzt. Er stand unten mit Sammet ausgelegt auf der Milchglasscheibe, während ein Rand r über den Kasten hinabging. Mittelst eines Hakens konnte der Tubus fest mit dem Kasten verbunden werden. Die Höhe des Tubus war 50,5 cm, seine übrigen Dimensionen 15$\times$11 cm. Oben hatte der Tubus eine kreisrunde Öffnung o von 2 cm Durchmesser. Damit man sich zu jeder Zeit der Beobachtung davon überzeugen konnte, dass der durch die Öffnung des Tubus eintretende Lichtkegel auch wirklich auf diejenige Stelle der Milchglasscheibe falle, unter welcher das Diaphragma sich befindet, wurde oben am Tubus ein Stück Karton e mit einer feinen Öffnung versehen angebracht. Durch diese Öffnung wurde ein Sonnenbildchen auf einem unten am Tubus befestigten kleinen Schirm s entworfen. Stellte man nun den Apparat in der erforderlichen Weise auf die Sonne ein,

was durch einen mit Schieber versehenen Ausschnitt a an der Seite des Tubus festgestellt werden konnte, und markierte zugleich die Lage des Sonnenbildchens auf dem Schirme, so konnte man sich bei den späteren Beobachtungen immer gleich von der richtigen Einstellung überzeugen, ohne den Schieber öffnen zu brauchen.

Um nun den Apparat bei verschiedenen Höhen der Sonne sicher einstellen zu können, wurde ein besonderes Gestell konstruiert und an dem Beobachtungsorte aufgestellt. Dasselbe bestand aus einer wagerechten Unterlage, die auf drei Schrauben ruhte. In der Unterlage waren senkrecht stehend zwei starke Bretter von 117 bezw. 38 cm Länge befestigt und in ihren oberen Enden schräg durchbohrt. Durch diese Öffnungen ging eine starke Eisenstange. Die Unterlage wurde nun durch die Schrauben so reguliert, dass die Eisenstange die Richtung der Weltachse hatte. Die Stange war in der Mitte viereckig ausgebogen und trug in dieser Ausbuchtung eine Rinne aus Holz, in welche der oben beschriebene Kasten hineinpasste und mittelst eines kleinen Keiles befestigt werden konnte. Die Rinne ruhte auf einer an die Stange genieteten Eisenplatte und war um ihre Mitte drehbar. Sie konnte mittelst einer Schraube, die durch einen in der Eisenplatte befindlichen Schlitz ging, in jeder Lage festgeklemmt werden. Durch diese Vorrichtung war es möglich, den Apparat für eine bestimmte Deklination der Sonne einzustellen. Für die Änderung des Standes der Sonne im Laufe desselben Tages brauchte man nur noch die Eisenstange zu drehen. Diesem Zwecke diente ein Hebel, der die Stange umschloss und mit einer Schraube an der Stange befestigt werden konnte. War der Apparat dann ungefähr richtig eingestellt, so wurde die Schraube angedreht und dadurch der Hebel fest mit der Stange verbunden. Zur feinern Einstellung dienten zwei leicht drehbare Schrauben, zwischen denen das andere Ende des Hebels sich befand. Mittelst dieser beiden Schrauben wurde auch die Drehung des Apparates bei Änderung des Standes der Sonne während einer Beobachtung reguliert.

Hilfsinstrumente.

Zur Bestimmung der Expositionszeit wurde bei der Belichtung durch die Sonne eine gutgehende Taschenuhr, bei der Belichtung durch die Hefnerlampe ein Sekundenpendel verwandt. Beide Instrumente wurden natürlich vorher auf ihre völlige Übereinstimmung sorgfältig geprüft und reguliert.

Als Zeitpunkt einer Beobachtung wurde die mittlere Zeit zwischen Anfang und Schluss der Beobachtung genommen. Aus diesen Zeiten wurden dann die Sonnenhöhen berechnet nach der Formel:

$$\sin h = \cos 15\,t \cos \varphi \cos \delta + \sin \varphi \sin \delta.$$

Bei den Berechnungen beschränkte ich mich auf ein Zehntel Grad Genauigkeit, weil, wie Andresen [1]) nachgewiesen hat, diese Ungenauigkeit den sehr beträchtlichen Abweichungen gegenüber, welche die atmosphärische Durchsichtigkeit auch an klaren Tagen zeigt, nicht ins Gewicht fällt.

Zur genauen und sichern Einstellung der Hefnerlampe auf die richtige Höhe diente ein von Professor Weber konstruiertes optisches Flammenmass, bestehend aus einer Linse, welche ein scharfes umgekehrtes Flammenbild auf eine helle Glasscheibe wirft. Auf der Scheibe ist eine Marke angebracht, welche die Spitze der Flamme eben berühren muss, wenn sie die richtige Länge haben soll. Diese Einrichtung hat den grossen Vorteil, dass man die Spitze der Flamme scharf sehen kann, während dieselbe bei Anwendung des Krüss'schen Flammenmasses mit Mattscheibe etwas verschwommen ist. Die Einstellung auf die richtige Flammenhöhe wurde stets mit besonderer Sorgfalt ausgeführt, da ein Fehler von 1 mm in der Einstellung schon eine Abweichung von 3 Prozent in der Lichtstärke hervorbringt. Da die Leuchtkraft der Hefnerlampe weiterhin bedingt ist durch die Beschaffenheit der umgebenden Luft, so wurde an den Beobachtungstagen durch häufiges Öffnen der Thüren und Fenster und voraufgehendes Herstellen eines kräftigen Luftzuges für reine Luft im Dunkelzimmer gesorgt.

Ausführung der Versuche.

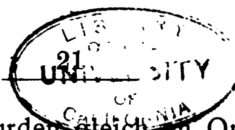
Nachdem die Kassette in der Dunkelkammer mit Bromsilberpapier versehen war, wurde die eine Hälfte des Schiebers geschlossen und die Kassette auf den Boden des Kastens gebracht. Hierauf wurde der Deckel mit dem Diaphragma und die Milchglasscheibe aufgelegt und die Klappe vor dem Diaphragma geschlossen. Nachdem noch der obere Tubus aufgesetzt war, wurde der Apparat aufs Dach des physikalischen Instituts, wo die ersten Beobachtungen vorgenommen wurden, getragen, dort in das Gestell gelegt, auf die Sonne eingestellt und durch Öffnen der Klappe während einer

[1]) Andresen. Zur Aktinometrie des Sonnenlichtes. Photogr. Corresp. 1898.

bestimmten Zeit t_1 exponiert. Hierauf wurde im Dunkelzimmer die Kassette ganz geschlossen und in einer gewissen Entfernung r von der Hefnerlampe senkrecht zu den Strahlen derselben aufgestellt. Alsdann wurde die andere Hälfte des Schiebers nach und nach in gewissen Zeitintervallen, die durch ein Sekundenpendel gemessen wurden, ausgezogen und schliesslich ganz geschlossen. Jetzt wurde das Papier entwickelt und fixiert. Als Entwickler diente eine Rhodinallösung von 1 : 20. Zum Fixieren wurde das gewöhnliche Fixierbad benutzt.

Wenn das Papier dann ausgewässert und trocken war, musste noch schätzungsweise die Zeit t_2 bestimmt werden, welche die gleiche Schwärzung wie das Sonnenlicht in der Zeit t_1 hervorgebracht hatte. Damit das Auge bei der Vergleichung der Schwärzungen nicht durch die daneben liegenden dunkleren und helleren Felder täuschend beeinflusst würde, wurde ein grauer Karton mit einer rechteckigen Öffnung, welche ungefähr die Breite eines Feldes hatte, auf das Bromsilberpapier gelegt. Auf diese Weise sah man nur das eine Feld und konnte dies leichter mit der homogenen Schwärzung des Sonnenlichtes vergleichen und die Zeit t_2 genauer bestimmen.

Bei den Beobachtungen, die ich in diesem Jahre ausserhalb der Stadt auf dem Sternwarten-Berge anstellte, stand mir keine geräumige Dunkelkammer am Beobachtungsorte zur Verfügung. Eine kleine, zum Wechseln des photographischen Papieres gerade ausreichende Dunkelkammer hatte ich mir in dem dort befindlichen magnetischen Hause errichtet. Infolgedessen konnte ich nicht nach jeder einzelnen Belichtung durch die Sonne auch gleich die Belichtung durch die Hefnerkerze vornehmen, sondern war genötigt, erst die eine Hälfte sämtlicher Papiere dem Sonnenlichte zu exponieren und nachher die andere Hälfte in der Dunkelkammer des physikalischen Instituts durch die Hefnerkerze zu belichten. Um nun sicher zu sein, dass nicht etwa die zwischen den Belichtungen liegende Zeit, die vielleicht veränderte Luftbeschaffenheit einen bemerkbaren Einfluss auf die Schwärzung der Papiere ausübe, verfuhr ich bei den Beobachtungen eines Tages in der Weise, dass ich die Belichtung durch die Hefnerkerze abwechselnd, teils gleich nachher, teils erst am folgenden Tage vornahm. Die aus diesen beiden Beobachtungen gewonnenen Sonnenhelligkeiten ergaben geometrisch dargestellt als Funktion der Sonnenhöhen genau dieselben Kurven.



Alle Beobachtungen wurden gleich an Ort und Stelle in ein hierfür angelegtes Buch eingetragen. Verfasser bediente sich des folgenden Schemas:

Nr.	Datum	T. Z.	h	d	t_1	stuf. Bel.	t_2	r

Zum Verständnis desselben möge folgendes dienen: In die erste Rubrik wird die laufende Nummer der Beobachtung, mit welcher auch das betr. Bromsilberpapier versehen wird, eingetragen. Die zweite enthält das Datum des Beobachtungstages, die dritte die Tageszeit der Beobachtung, aus welcher dann die Sonnenhöhen berechnet und in die folgende Kolumne eingetragen werden. Die fünfte Rubrik giebt an, welches Diaphragma bei der Beobachtung benutzt wurde, die sechste zeigt die Dauer der Belichtung durch die Sonne an. In die folgende Vertikalreihe wird das Zeitintervall bei der stufenförmigen Belichtung, ferner die Dauer der Belichtung des ersten Feldes eingetragen. Unter t_2 wird die abgeschätzte Zeitdauer der Belichtung durch die Hefnerkerze später nachgetragen. Die letzte Kolumne enthält endlich den Abstand der Hefnerkerze von der Kassette.

Auswertung der Beobachtungen.

Die Berechnung der chemischen Lichtintensität S der Sonne an der Erdoberfläche geschah folgendermassen: Nach der oben entwickelten Formel war

$$J_1 = J_2 \frac{t_2}{t_1}.$$

Hierin sind t_1 und t_2 durch die Beobachtung direkt gegeben. J_2 ist die von der Hefnerkerze auf das Bromsilberpapier gesandte Lichtmenge; dieselbe ist gleich der Einheit dividiert durch das Quadrat des Abstandes r der Hefnerkerze von der Kassette, multipliziert mit einem Faktor p_1, welcher der Absorption des Lichtes durch die helle Glasscheibe der Kassette entspricht. Also

$$J_2 = p_1 \frac{1}{r^2}.$$

J_1 ist die Menge des auf das Bromsilberpapier fallenden Sonnenlichtes. Letzteres aber ist durch Milchglasscheibe und

Diaphragma bedeutend abgeschwächt worden. Die das Bromsilberpapier treffende Lichtquantität ist proportional der scheinbaren Sonnenintensität S, dem Flächeninhalte des Diaphragmas $\frac{d^2 \pi}{4}$, ferner einem Faktor p_2, welcher die Absorption des Lichtes durch die Milchglasscheibe angiebt, und umgekehrt proportional dem Quadrate des Abstandes $\varrho = 59.2$ cm der Kassette von dem Diaphragma. Das Ganze ist dann noch zu multiplizieren mit p_1, dem Absorptionskoeffizienten der hellen Glasscheibe. Wir haben demnach

$$J_1 = p_1 \,.\, p_2 \frac{S\, d^2 \pi}{4\, \varrho^2}.$$

Die Werte für J_1 und J_2 in obige Formel eingesetzt ergeben

$$S = \frac{4\, \varrho^2\, t_2}{p_2\, d^2 \pi\, r^2\, t_1}.$$

Hierin sind alle Grössen durch Beobachtung oder Messung gegeben, mit Ausnahme des Faktors p_2, der noch einer besondern Besimmung bedarf.

Messung des Durchmessers d der Diaphragmen.

Die Bestimmung des Durchmessers der Diaphragmen wurde mit möglichst grosser Genauigkeit ausgeführt und zwar auf zweifache Weise:

Mit Hülfe eines Baumann'schen Comparators, der Messungen bis auf ein Hundertstel Millimeter Genauigkeit gestattete, wurden die Durchmesser gemessen. Als Mittelwerte aus einer Reihe von Messungen ergaben sich für Diaphragma 1 : 0.955 mm, für Diaphragma 2 : 1.336 mm.

Dieselben Resultate erhielt ich bei der Bestimmung nach der zweiten Methode: Ich stellte hinter das Diaphragma eine Lichtquelle und liess durch eine Linse ein vergrössertes Bild auf einem Schirme entwerfen. Da Bild- und Gegenstandsgrösse sich verhalten wie Bild- und Gegenstandsweite, so konnte auch auf diese Weise die Grösse des Diaphragmas sehr genau berechnet werden.

Bestimmung der Absorptionskonstante p_2.

Die Versuche, die zur Ermittlung der Absorptionskonstante p_2 angestellt wurden, waren folgende:

In der letzten Gleichung für die scheinbare Sonnenintensität finden sich als unbekannte Grössen S und p_2. Belichten wir jetzt Bromsilberpapier in derselben Weise wie vorhin, nehmen aber bei

der ersten Belichtung statt der unbekannten Sonnenintensität S eine bekannte Lichtquelle etwa die Hefnerkerze, so erhalten wir eine Gleichung, in welcher nur p_2 als Unbekannte vorkommt und sich daraus berechnen lässt.

Da die Leuchtkraft der Hefnerkerze verhältnismässig gering ist, so musste jetzt an Stelle der früher angewandten kleinen Diaphragmen ein grösseres Diaphragma benutzt werden. Dasselbe hatte einen Durchmesser von 10,04 cm und war aus einem schwarzen Karton sorgfältig geschnitten, der auf die Milchglasscheibe aufgeklebt wurde. Damit die Milchglasscheibe an den Seiten des Kastens genau anschloss und kein andres Licht als durch das Diaphragma in den Kasten gelangen konnte, wurde über die Milchglasscheibe ein Deckel gelegt, der inwendig mit schwarzem Sammet überzogen und mit einem Rande, der den oberen Teil des Kastens umschloss, versehen war. In den Deckel war eine kreisrunde Öffnung geschnitten, etwas grösser als das darunter befindliche Diaphragma. Da letzteres fast die ganze Breite des Kastens einnahm, so musste die früher das kleine Diaphragma verschliessende Klappe herausgenommen werden. Statt dessen diente jetzt zum Verschlusse ein innen mit Sammet ausgelegter Deckel, der über die kreisrunde Öffnung gelegt wurde. Der früher zur Abhaltung des diffusen Lichtes dienende Tubus kam jetzt natürlich in Wegfall. Die Versuche wurden im Dunkelzimmer mit schwarzen Wänden und schwarzer Decke angestellt und zwar in nachstehender Weise:

Nach Verschluss des Kastens bringen wir denselben in eine wagerechte Lage und stellen in gewisser Entfernung davor die Hefnerlampe so auf, dass sie senkrecht gegen die Mitte des Diaphragmas strahlt. Nach Einstellung der Hefnerlampe auf die richtige Höhe öffnen wir den oberen Deckel und lassen damit die Hefnerkerze durch Diaphragma und Milchglasscheibe hindurch auf das Bromsilber wirken. Darauf setzen wir analog dem früheren Verfahren die nicht belichtete Hälfte des Bromsilberpapieres in entsprechender Entfernung dem direkten Lichte der Hefnerkerze aus, indem wir den zweiten Schieber stufenweise herausziehen. Nachdem das Papier entwickelt und fixiert ist, wird die Expositionszeit abgeschätzt, welche die gleiche Schwärzung bewirkt hat wie die erste Belichtung.

Bei den ersten Versuchen, die ich anstellte, zeigte es sich, dass, wenn die Hefnerkerze auch bis auf 30 cm an die Milchglasscheibe herangerückt wurde, doch noch sehr grosse Expositionszeiten

nötig waren, um merklich wahrzunehmende Schwärzungen auf dem Bromsilberpapier hervorzubringen. Im Gegensatze hierzu waren die Belichtungszeiten bei der direkten Belichtung der andern Hälfte des Papieres auch bei den grössten im Dunkelzimmer möglichen Entfernungen verhältnismässig gering. Im günstigsten Falle waren die Zeiten bei der ersteren Belichtung immer noch zehn mal so gross als bei der direkten Belichtung. Da aber das Gesetz, dass die photochemische Wirkung des Lichtes der Expositionszeit proportional ist, wie oben gezeigt, nur angenähert für nicht allzu grosse Zeitunterschiede gilt, so wichen auch die Resultate, die ich bei diesen Beobachtungen für die Absorptionskonstante p_2 erzielte, erheblich von einander ab.

Diesem Übelstande abzuhelfen, waren zwei Wege naheliegend: 1) Verstärkung der Lichtquelle bei der ersten Belichtung; 2) Verringerung des Abstandes der Kassette von der Milchglasscheibe. Statt der Hefnerkerze eine andre Lichtquelle anzuwenden, schien mir nicht rätlich, einmal wegen der abweichenden Färbung dieser Lichtquelle, dann aber besonders, weil die Konstanz der etwa benutzten Flamme sich bedeutend schwerer feststellen liess. Deshalb verkleinerte ich den Abstand zwischen Kassette und Milchglasscheibe von 59,2 auf 25,3 cm. Während früher die Kassette auf dem Boden des Kastens ruhte, wurden jetzt in dem betr. Abstande an die Seitenwände des Kastens Leisten geschraubt, auf welche die Kassette gelegt werden konnte. Indem ich dann die Distanz zwischen Hefnerkerze und Milchglasscheibe ziemlich klein nahm, gelang es mir nach einigen Versuchen, ungefähr gleiche Expositionszeiten zu erzielen.

Bei den jetzigen kleinen Abständen der Hefnerkerze und der Kassette von der Milchglasscheibe war es aber nicht mehr angängig, alle auf die Milchglasscheibe einerseits und von der Scheibe auf das Bromsilberpapier andrerseits fallenden Strahlen als senkrecht anzunehmen und die Cosinus der Incidenz- und Emissionswinkel einfach zu vernachlässigen. Infolgedessen wurde die früher einfache Formel etwas kompliziert. Sie werde hier jetzt abgeleitet:

Der Radius des Diaphragmas der Milchglasscheibe werde bezeichnet mit s; der Abstand der Hefnerkerze von der Milchglasscheibe sei a, der Abstand des Bromsilberpapieres von derselben gleich b. Denkt man sich das Diaphragma durch mit ihm konzentrische Kreise von den Radien dx, 2dx, 3dx .... und durch Radien, welche um den Winkel $d\varphi$ von einander abstehen, in viereckige

Elemente geteilt, so ist der Inhalt eines Elementes, welches um x von dem Mittelpunkte des Diaphragmas entfernt ist, gleich xdx $d\varphi$. Die Lichtmenge q, welche von der Hefnerlampe auf dieses Element fällt, ist

$$q = \frac{J \cdot x \cdot \cos i \cdot dx\, d\varphi}{a^2 + x^2};$$

da $\cos i = \frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}}$ und $J = 1$ ist, so ergiebt sich

$$q = \frac{x \cdot a\, dx\, d\varphi}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}}.$$

Die durch die Milchglasscheibe hindurchdringende Lichtmenge q' des Elementes ist, da p_2 den Absorptionsfaktor der Scheibe bezeichnet,

$$q' = p_2 \cdot q.$$

Die von diesem Elemente auf ein Flächenelement df des Bromsilberpapieres fallende Lichtquantität q'' ist

$$q'' = \frac{q'\, df \cos i_1 \cos e}{y^2},$$

wo y den Abstand des Elementes df von dem Elemente der Milchglasscheibe bedeutet; i_1 bezeichnet den Incidenzwinkel und e den Emissionswinkel.

Bei den angestellten Versuchen suchte ich nun immer dahin zu gelangen, dass die in Betracht kommenden gleichen Schwärzungen in der Mitte des Bromsilberpapieres lagen. Für ein solches in der Mitte, d. h. senkrecht unter dem Mittelpunkte des Diaphragmas liegendes Element df beträgt die von einem beliebigen Elemente der Scheibe auf dasselbe gesandte Lichtmenge

$$q'' = \frac{df\, q' \cos i_1 \cos e}{b^2 + x^2}.$$

Da in diesem Falle $\cos i_1 = \cos e = \frac{b}{\sqrt{b^2 + x^2}}$ wird, so erhalten wir für q'', wenn wir statt df die Flächeneinheit, das Quadratcentimeter setzen, den Ausdruck

$$q'' = \frac{p_2\, ab^2\, x\, dx\, d\varphi}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2}.$$

Für die gesamte von der Hefnerkerze auf die Flächeneinheit des Bromsilberpapieres gestrahlte Lichtmenge Q ergiebt sich

$$Q = p_2\, ab^2 \int_0^{2\pi} d\varphi \int_0^s \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2};$$

$$Q = p_2\, ab^2\, 2\pi \int_0^s \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2};$$

Das Integral löst sich durch die Substitution: $x = a \operatorname{tg} t$; dann wird

$$\int \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2} = \frac{1}{a} \int \frac{\sin t \cos^4 t\, dt}{(b^2 \cos^2 t + a^2 \sin^2 t)^2};$$

$\cos t = z$ gesetzt giebt

$$\int \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2} = -\frac{1}{a} \int \frac{z^4\, dz}{[a^2 - (a^2 - b^2)\, z^2]^2}.$$

Setzen wir $\frac{a^2}{a^2 - b^2} = c^2$, so erhalten wir

$$\int \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2} = -\frac{1}{a\,(a^2 - b^2)^2} \int \frac{z^4\, dz}{(z^2 - c^2)^2}$$

$$= -\frac{1}{a\,(a^2 - b^2)^2} \left[z + c^2 \int \frac{2\, z^2 - c^2}{(z^2 - c^2)^2}\, dz \right].$$

Die Lösung des letzteren Integrals findet man durch Partialbruchzerlegung:

$$\int \frac{2\, z^2 - c^2}{(z^2 - c^2)^2}\, dz = \frac{1}{4} \left[\int \frac{dz}{(z + c)^2} + \int \frac{dz}{(z - c)^2} - \frac{3}{c} \int \frac{dz}{z + c} \right.$$

$$\left. + \frac{3}{c} \int \frac{dz}{z - c} \right] = \frac{1}{4} \left[-\frac{2\, z}{z^2 - c^2} + \frac{3}{c} \log \frac{z - c}{z + c} \right].$$

Setzt man jetzt für z und c ihre Werte wieder ein, so erhält man

$$\int \frac{x\, dx}{(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}} (b^2 + x^2)^2} = -\frac{1}{a\,(a^2 - b^2)^2} \left[\frac{a}{\sqrt{a^2 + x^2}} \right.$$

$$\left. + \frac{a \sqrt{a^2 + x^2}}{2\,(b^2 + x^2)} + \frac{3a}{4\sqrt{a^2 - b^2}} \log \frac{\sqrt{a^2 - b^2} - \sqrt{a^2 + x^2}}{\sqrt{a^2 - b^2} + \sqrt{a^2 + x^2}} \right].$$

Für Q bekommen wir jetzt

$$Q = -\frac{p_2\, a\, b^2\, 2\pi}{(a^2 - b^2)^2} \left[\frac{1}{\sqrt{a^2 + x^2}} + \frac{\sqrt{a^2 + x^2}}{2\,(b^2 + x^2)} + \frac{3}{4\sqrt{a^2 - b^2}} \right.$$

$$\left. \log \frac{\sqrt{a^2 - b^2} - \sqrt{a^2 + x^2}}{\sqrt{a^2 - b^2} + \sqrt{a^2 + x^2}} \right]_0^s.$$

$$Q = \frac{p_2\, a\, b^2\, 2\pi}{(a^2 - b^2)^2} \left[\frac{1}{a} + \frac{a}{2\,b^2} - \frac{1}{\sqrt{a^2 + s^2}} - \frac{\sqrt{a^2 + s^2}}{2\,(b^2 + s^2)} - \frac{3}{4\sqrt{a^2 - b^2}} \log \frac{\left(\sqrt{a^2 - b^2} + a\right)\left(\sqrt{a^2 - b^2} - \sqrt{a^2 + s^2}\right)}{\left(\sqrt{a^2 - b^2} - a\right)\left(\sqrt{a^2 - b^2} + \sqrt{a^2 + s^2}\right)} \right]$$

Diese Formel verliert zwar ihre Anwendbarkeit für a = b. In diesem Falle aber würde die Entwicklung der Formel sich bedeutend einfacher gestalten. Er wäre dann

$$Q = p_2 \frac{2}{5} \pi\, a^3 \left[\frac{1}{(a^2 + s^2)^{\frac{5}{2}}} - \frac{1}{a^5} \right].$$

Der obige etwas umständliche Ausdruck für Q liess sich für die verschiedenen Beobachtungen doch verhältnismässig leicht auswerten, da b bei allen Versuchen konstant blieb = 25.3 cm, während für a nur die Werte 35, 34, 33 und 32 cm gewählt wurden. Es war also

$$Q = p_2 \,.\, v,$$

wo v einen vierfach verschiedenen Wert je nach der Wahl von a annehmen konnte.

Setzt man diesen Wert von Q in die Gleichung

$$J_3\, t_3 = J_4\, t_4$$

ein, so ist hieraus p_2 bestimmt. Es bedeuten in dieser Gleichung t_3 die Dauer der Belichtung mit Milchglasscheibe, t_4 die Zeit der direkten Belichtung; J_3 ist gleich Q und $J_4 = \frac{1}{r_1^2}$, wo r_1 gleich dem Abstande der Hefnerkerze von der Kassette bei der direkten Exposition ist. Also

$$Q \,.\, t_3 = \frac{t_4}{r_1^2}$$

$$Q = \frac{t_4}{t_3\, r_1^2}$$

$$\text{oder: } p_2 = \frac{t_4}{t_3\, r_1^2 \,.\, v}.$$

Die zur Ermittlung von p_2 vorgenommenen Beobachtungen enthält nachfolgende Tabelle. Die erste Rubrik giebt die Nummer des Bromsilberpapieres an; die fünfte Kolumne enthält die Zeitunterschiede bei der stufenförmigen Belichtung, die in Klammern angefügte Zahl zeigt die Expositionszeit des ersten Feldes an; in der folgenden Vertikalreihe steht die durch Schätzung gefundene Beobachtungszeit t_4. Die letzte Reihe endlich enthält den berechneten Wert p_2.

Nr.	cm a	cm r_1	sec. t_3		sec. t_4	p_2
a	33	475	225	10 (180)	230	0.04205
b	33	475	240	10 (180)	245	0.04190
c	33	475	270	10 (210)	267	0.04068
e	33	475	191	10 (130)	190	0.04092
f	33	475	200	10 (150)	195	0.04010
g	33	475	210	10 (150)	214	0.04192
h	35	475	240	10 (150)	214	0.04133
i	35	485	280	12 (180)	258	0.04097
k	35	480	240	10 (150)	222	0.04198
l	35	480	220	10 (150)	200	0.04126
m	35	485	215	10 (150)	200	0.04136
n	35	485	210	10 (160)	196	0.04150
o	35	485	200	10 (120)	184	0.04091
p	35	485	180	10 (120)	170	0.04199
q	35	480	190	10 (120)	176	0.04204
r	33	475	180	10 (140)	184	0.04205
s	32	475	180	10 (120)	192	0.04134
t	32	480	170	12 (120)	186	0.04143
u	34	480	180	10 (120)	175	0.04180
v	34	475	190	10 (120)	179	0.04142

Aus diesen Beobachtungen resultiert für die Absorptionskonstante p_2 der Milchglasscheibe der Mittelwert 0.04145.

Bei Vernachlässigung der Cosinus der Incidenz- und Emissionswinkel hatte sich aus diesen Versuchen der Mittelwert 0.0392 ergeben.

Ermittlung der chemisch wirksamen Strahlen des Spektrums.

Das bei den Versuchen zur Verwendung gelangte Bromsilberpapier war von der Firma Dr. Stolze & Co. in Charlottenburg bezogen. Anfänglich benutzte ich zwei Sorten desselben: Eine Sorte M war hochempfindlich, während die andere F etwas weniger empfindlich war. Bei den späteren einschlägigen Untersuchungen wurde nur die erstere Sorte M benutzt.

Zur Ermittlung des Spektralbezirkes, welcher auf das Bromsilberpapier chemisch wirksam war, verfuhr ich folgendermassen: Ich entwarf im Dunkelzimmer durch ein in der Wandung angebrachtes Spaltrohr mit Prisma eines Spektralapparates ein Sonnenspektrum auf einem weissen Schirme. Der Schirm war mit einer Vorrichtung versehen, die es gestattete, das photographische Papier bequem darauf zu befestigen. Das Papier wurde eine gewisse Zeit hindurch der Wirkung des gesamten Spektrums ausgesetzt. Die Aufnahmen

erfolgten natürlich nicht in direktem Sonnenlichte, da dann das Papier schon in einer Sekunde überexponiert war, sondern in diffusem Lichte bei grauem Wetter. Nach vielen wegen der Inkonstanz der Bewölkung vergeblichen Versuchen gelang es mir endlich, mehrere gute Aufnahmen des Spektrums zu erzielen. Die Schwärzungen des Papieres waren nahezu dieselben wie bei den Beobachtungen. Die Expositionszeiten lagen zwischen 40 und 100 Sekunden, entsprachen also ebenfalls den bei den Beobachtungen gewöhnlich angewandten Belichtungszeiten. Die verschiedenen Linien des Spektrums waren auf dem Papiere sehr gut sichtbar. Nach einer Vergleichung mit einem in Vogel's „Handbuch der Photographie“ aufgenommenen Sonnenspektrum ergab sich, dass das benutzte Bromsilberpapier ein Maximum der Empfindlichkeit im Indigoblau besass zwischen den Linien F und G und zwar in nächster Nähe von G. Der gesamte Wirkungsbereich des Spektrums erstreckte sich für das Bromsilberpapier M von der Mitte zwischen den Linien F und G bis zur Linie h. Es waren also chemisch wirksam nur die Strahlen von den Wellenlängen $\lambda = 460$ bis etwa $\lambda = 415$.

Beobachtungszeit.

Um möglichst grosse Genauigkeit bei der Bestimmung der Solarkonstante und des Transmissionskoeffizienten der Atmosphäre zu erzielen, suchte ich durch zahlreiche Beobachtungen möglichst viel Material zu schaffen. Ich beobachtete daher anfangs auch an Tagen, an welchen der Himmel nicht ganz klar war. Die Schwankungen in der Sonnenintensität waren hier aber so gross, dass die Beobachtungsreihen nicht brauchbar waren. Besonders unsicher aber wurden die Beobachtungen, wenn helles Cirrusgewölk am Himmel sich befand, weil dieses in der Nähe der Sonne für den Beobachter meistens unsichtbar ist. Crova[1]) beobachtete deshalb nur an solchen Tagen, an welchen kein Wölkchen am Himmel zu sehen war. Langley sagt in seiner Abhandlung: Die auswählende Absorption der Sonne (Wied. Annal Bd. 19): „Das Bolometer sieht Wolken, die dem Auge unsichtbar bleiben.“ Er musste infolgedessen viele seiner Beobachtungen wegen der beträchtlichen Schwankungen der scheinbaren Sonnenhelligkeit unberücksichtigt lassen, ebenso C. Michalke[2]). Deshalb beobachtete

[1]) Crova. Messungen der Wärme der Sonnenstrahlen und ihre Absorption durch die Atmosphäre. Journ. de Phys. 1877.

[2]) C. Michalke. Inaug. Diss. Breslau 1886.

ich schliesslich nur an solchen Tagen, an welchen sich kein Gewölk in grösserer Höhe über dem Horizont befand.

Beobachtungsort.

Die Beobachtungen im Jahre 1900 wurden auf dem Dache des hiesigen physikalischen Instituts angestellt. Die Resultate der hier gemachten zahlreichen Versuche wichen aber meist erheblich von einander ab; nur wenige besonders klare Tage lieferten ein ziemlich übereinstimmendes Ergebnis. Die Abweichungen hatten wohl ihren Grund in dem wenig konstanten Zustande der Atmosphäre, da eine Dunst- und Rauchzone die Stadt meist überdeckte.

Deshalb verlegte ich für die folgenden Beobachtungen im Frühjahr 1901 den Beobachtungsort ausserhalb der Stadt auf den Sternwartenberg. Die hier an den klaren Nachmittagen angestellten Beobachtungen ergaben befriedigend übereinstimmende Resultate. An den Vormittagen konnte leider nicht mit Erfolg beobachtet werden, da bei zunehmender Sonnenhöhe eine Abnahme des Absorptionskoeffizienten eintrat, wie die Tabelle 12 zeigt. Die Ursache hierfür lag einerseits in dem am Morgen besonders starken Rauche, der von den im Osten des Beobachtungsortes liegenden Werften ausging, andrerseits in dem Einflusse des Kieler Hafens, indem die Absorption um so stärker war, je mehr sich die Sonnenstrahlen der Richtung des Wassers näherten. Auch Michalke hatte bei seinen Beobachtungen in Breslau den Einfluss der Oder auf die Absorption der Luft wahrgenommen.

Beobachtungsresultate.

Eine Zusammenstellung der Beobachtungen geben die folgenden Tabellen. Von den im Jahre 1900 erhaltenen Beobachtungsreihen erwiesen sich etwa die Hälfte wegen zu grosser Schwankungen im Zustande der Atmosphäre von vornherein als unbrauchbar und sind deshalb gar nicht angeführt. Von der andern Hälfte sind nur die Beobachtungen der vier klarsten Tage vollständig angegeben, während von den übrigen 7 Tagen nur die Resultate mitgeteilt sind (Tabelle 5). Die Versuchsreihen dieses Jahres sind dagegen vollständig aufgeführt.

In den Tabellen giebt die erste Vertikalreihe die Nummer des Bromsilberpapieres an, die zweite den Zeitpunkt der Beobachtung in mitteleuropäischer Zeit und zwar wurde als solcher die mittlere Zeit zwischen Anfang und Schluss der Beobachtung genommen;

die folgende enthält die hieraus berechnete Sonnenhöhe. Die vierte Reihe zeigt an, welches Diaphragma benutzt wurde, die folgende giebt den Abstand der Hefnerkerze von der Kassette an. t_1 und t_2 enthalten die Dauer der Belichtung durch die Sonne bezw. durch die Hefnerkerze, log S ist der Briggische Logarithmus der scheinbaren Sonnenintensität. Endlich ist

$$\varDelta S = \log S - \log A - \sec z \log p.$$

Der wahrscheinliche Fehler des Resultates ist definiert durch

$$\pm\, 0.6745 \sqrt{\frac{\varDelta_1^2 + \varDelta_2^2 + \ldots\ldots \varDelta_n^2}{n\,(n-2)}}$$

Die meteorologischen Daten sind den laufenden Beobachtungen des hiesigen physikalischen Instituts entnommen. Die Angaben sind die Mittel von 7^h a., 2^h p. und 9^h p. B ist der Barometerstand, W. R. die Windrichtung, W. St. die Windstärke nach Metern pro Sekunde, T. die Temperatur und r. F. die relative Feuchtigkeit der Luft.

Tabelle 1.

17. August 1900.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	$\varDelta$ S
195	8^h 20^m	27° 53′	1	3.00	100	98	6.1087	+ 0.012
196	8 50	31° 59′	„	2.90	„	92.5	6.1130	— 0,033
197	9 20	35° 53′	„	„	90	93	6.1612	— 0.022
198	9 50	39° 28′	„	2.80	„	97	6.2099	+ 0.001
200	10 50	45° 20′	„	2.60	75	73.5	6.2329	— 0.009
201	11 20	47° 23′	„	2.55	„	73	6.2469	— 0.005
203	12 10	49° 7′	„	„	„	78	6.2757	+ 0.017
204	12 28	49° 11′	„	„	„	78	6.2757	+ 0.016
205	12 48	48° 54′	„	„	„	77.5	6.2729	+ 0.015
206	1 23	47° 31′	„	2.60	„	78	6.2587	+ 0.006
207	1 50	45° 45′	„	2.65	80	82.5	6.2387	— 0.006
208	2 20	43° 11′	„	„	90	91.5	6.2325	+ 0.001
209	2 50	40° 5′	„	2.70	„	92	6.2185	+ 0.005
210	3 20	36° 32′	„	2.80	„	93	6.1916	+ 0.004
211	3 49	32° 51′	„	2.85	„	86	6.1424	— 0.013
212	4 20	28° 38′	„	2.95	100	98	6.1233	+ 0.016
213	4 50	24° 23′	„	3.10	110	97	6.0343	— 0.006
214	5 20	20° 3′	2	2.50	80	69	5.9202	— 0.022
215	5 48	15° 58′	„	2.80	90	77.5	5.8210	+ 0.022

Meteorologische Daten:
B = 764.5; T = 19.82 ° C.; r. F. = 75.3; W. R.: ONO; W. St.: 1.8; Bewölkung: 0.

Nach der Lambert'schen Gleichung wurde berechnet

log A = 6.522.

Wahrscheinlicher Fehler des Resultates: ± 0.002.

log p = 9.8011 — 10.

Tabelle 2.

14. September 1900.

Nr.	Z	h	D	$\frac{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	ΔS
251	2h 5m	34° 27′	1	2.75	85	87	6.2030	—0.018
252	2 38	31° 27′	„	2.85	90	93	6.1770	—0.018
253	3 5	28° 35′	„	2.90	„	94	6.1660	+0.001
254	3 31	25° 32′	„	3.00	„	101	6.1676	+0.042
255	3 50	23° 9′	„	„	„	86	6.1078	+0.020
256	4 9	20° 40′	„	3.05	„	75	6.0240	—0.014
257	4 31	17° 42′	2	2.50	75	71	5.9607	0.000
258	4 49	15° 12′	„	2.70	100	88	5.8620	—0.009

Meteorologische Daten:
B = 770.5; T = 14.50 ° C; r. F = 85.0; W. R.: W; W. St.: 2.1; Bewölkung: 0.

Berechnet: log A = 6.523;

Wahrscheinlicher Fehler: ± 0.005;

log p = 9.8291 — 10.

Tabelle 3.

16. September 1900.

Nr.	Z	h	D	$\frac{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	ΔS
271	2h 37m	30° 44′	1	2.70	85	84	6.2138	—0.002
272	2 57	28° 40′	„	2.75	90	86.5	6.1760	—0.020
273	3 15	26° 38′	„	2.80	„	91	6.1821	+0.011
274	3 36	24° 7′	„	2.85	„	87	6.1474	+0.011
275	3 57	21° 28′	„	2.95	100	91	6.0910	—0.002
276	4 17	18° 49′	„	3.10	120	111	6.0550	+0.020
277	4 36	16° 13′	„	3.25	140	111	5.9470	—0.012
278	4 56	13° 26′	2	2.70	120	84	5.8420	—0.003

Meteorologische Daten:
B = 767.9; T = 14.58° C; r. F = 80.7; W. R.: WSW; W. St.: 0.33; Bewölkung 0.

Berechnet: log A = 6.525;

Wahrscheinlicher Fehler: ± 0.003;

log p = 9.8418 — 10.

Tabelle 4.

8. Oktober 1900.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	ΔS
285	1h 13m	28° 18′	2	2.40	70	81	6.0833	+ 0.004
286	1 27	27° 35′	„	2.45	75	88	6.0713	+ 0.003
287	1 45	26° 28′	„	„	„	87	6.0663	+ 0.016
288	2 2	25° 14′	„	„	„	77.5	6.0161	— 0.011
289	2 24	23° 24′	„	2.55	80	87	6.0037	+ 0.015
290	2 44	21° 31′	„	2.60	90	87	5.9356	— 0.008
291	3 1	19° 46′	„	2.75	„	77.5	5.8368	— 0.057
292	3 19	17° 47′	„	2.90	„	86.5	5.8383	+ 0.014
293	3 37	15° 41′	„	3.10	100	84	5.7218	— 0.009
294	3 54	13° 36′	„	3.35	120	94	5.6242	+ 0.014

Meteorologische Daten:
B = 770.2; T = 14.13° C; r. F. = 87.0; W. R.: SW.; W. St.: 1.0; Bewölkung: Von 2^h 30^m an einzelne Wölkchen.

Berechnet: log A = 6.541;

Wahrscheinlicher Fehler: ± 0.005;

log p = 9.7808 — 10.

Tabelle 5.

1900.

Datum	log A	log p	Anzahl der Beobachtungen
11. Juni	6.482	9.7854—10	20
12. Juni	6.572	9.7431	17
20. Juli	6.457	9.7596	12
21. Juli	6.534	9.7233	12
16. August	6.482	9.8329	12
27. August	6.502	9.8216	15
28. August	6.440	9.7460	13

Tabelle 6.

21. April 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	$\varDelta$S
1	2h 10m	42° 2′	1	2.55	75	68	6.2160	— 0.007
2	2 17	41° 23′	"	"	"	66	6.2030	— 0.015
3	2 24	40° 43′	"	2.50	"	68	6.2333	+ 0.018
4	2 30	40° 6′	"	2.55	80	71	6.2069	— 0.003
5	2 36	39° 29′	"	"	75	70	6.2287	+ 0.024
6	2 44	38° 38′	"	2.60	"	68.5	6.2023	+ 0.003
8	2 58	37° 4′	"	2.65	"	71	6.2015	+ 0.016
9	3 6	36° 8′	"	"	"	71	6.2015	+ 0.024
10	3 15	35° 3′	"	2.70	"	71.5	6.1881	+ 0.020
11	3 22	34° 12′	"	"	"	63.5	6.1366	— 0.023
12	3 29	33° 19′	"	2.75	80	69	6.1288	— 0.022
13	3 37	32° 18′	"	"	85	73	6.1270	— 0.013
14	3 46	31° 8′	"	2.80	80	69	6.1130	— 0.013
15	3 53	30° 12′	"	"	85	71.5	6.1022	— 0.013
16	3 59	29° 24′	"	2.85	90	79	6.1055	+ 0.002
17	4 5	28° 35′	"	2.90	"	78.5	6.0876	— 0,004
19	4 20	26° 31′	"	2.95	"	75	6.0530	— 0.006
21	4 31	24° 59′	"	3.00	"	74	6.0325	+ 0.001
22	4 37	24° 8′	"	3.05	95	79	6.0230	+ 0.008
23	4 43	23° 17′	"	"	"	75	6.0005	+ 0.005
24	4 50	22° 17′	"	3.10	"	68.5	5.9469	— 0.026
25	4 57	21° 17′	"	3.15	100	73	5.9384	— 0.009
26	5 4	20° 17′	"	3.25	105	81	5.9352	+ 0.016
27	5 10	19° 25′	"	3.35	110	85	5.9097	+ 0.018
28	5 17	18° 24′	"	3.45	120	92	5.8559	— 0.001

Meteorologische Daten:

B = 767.2; T = 9.93° C; r. F. = 67.0; W. R.: SO; W. St.: 0.5; Bewölkung: 0.

Berechnet: log A = 6.549.

Wahrscheinlicher Fehler: 0.003;

log p = 9.7815 — 10.

Tabelle 7.
22. April 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t''_1	t''_2	log S	ΔS
35	3h 10m	35° 54′	1	2.65	75	69	6.189	+0.029
36	3 16	35° 10′	„	2.70	„	68.5	6.170	+0.017
37	3 23	34° 18′	„	2.75	„	68	6.151	+0.007
38	3 29	33° 33′	„	„	81	71	6.136	—0.001
39	3 37	32° 32′	„	2.80	80	66.5	6.097	—0.029
40	3 44	31° 37′	„	2.85	„	73	6.122	+0.007
41	3 50	30° 49′	„	„	85	74	6.102	—0.003
43	4 3	29° 5′	„	2.90	„	73.5	6.084	+0.002
44	4 11	27° 59′	„	„	90	75.5	6.071	+0.005
45	4 18	27° 1′	„	2.95	„	70	6.023	—0.028
46	4 24	26° 11′	„	„	„	„	6.023	—0.013
47	4 30	25° 20′	„	3.00	„	„	6.008	—0.013
48	4 36	24° 29′	„	3.05	95	75	6.000	—0.004
49	4 43	23° 30′	„	3.10	„	72	5.969	—0.014
51	4 57	21° 29′	„	3.25	100	78	5.940	+0.006
52	5 4	20° 29′	„	3.40	105	83.5	5.909	+0.003
53	5 13	19° 11′	„	3.50	110	89	5.891	+0.025

Meteorologische Daten:
B = 766.5; T = 11.63 ° C; r. F = 64.0; W. R.: OSO; W. St.: 1.1;
Bewölkung: 0;
Berechnet: log A = 6.534;
Wahrscheinlicher Fehler: $\pm$ 0.003;
log p = 9.7804 — 10.

Tabelle 8.
24. April 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t''_1	t''_2	log S	ΔS
84	3h 0m	37° 37′	1	2.65	75	58	6.114	—0.002
85	3 5	37° 1′	„	2.70	„	60	6.112	+0.002
86	3 11	36° 18′	„	2.80	„	62	6.095	—0.008
87	3 21	35° 4′	„	2.90	„	71	6.123	+0.026
88	3 26	34° 26′	„	2.95	„	71	6.108	—0.017
89	3 32	33° 41′	„	„	80	72.5	6.089	+0.007
90	3 37	33° 2′	„	„	„	72	6.086	+0.011
91	3 42	32° 23′	„	„	„	68	6.062	—0.004
92	3 47	31° 43′	„	„	85	71.5	6.057	—0.001
93	3 52	31° 3′	„	„	„	69	6.042	—0.007
94	3 58	30° 14′	„	„	„	66	6.022	—0.015
95	4 3	29° 34′	„	3.00	90	72.5	6.024	—0.003
96	4 15	27° 55′	„	3.10	„	73	5.998	—0.003
97	4 21	27° 5′	„	3.20	95	82	5.998	+0.012

Meteorologische Daten:
B = 769.0; T = 10.6 ° C; r. F = 63.7; W. R.: O; W. St.: 1.9; Bewölkung: 0.

Berechnet: log A = 6.524;
Wahrscheinlicher Fehler: ± 0.002;
log p = 9.7550 — 10.

Tabelle 9.
13. Mai 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t''_1	t''_2	log S	Δ S
126	3h 51m	35° 29′	1	2.80	65	67	6.191	0.000
127	3 57	34° 34′	„	„	„	67	6.191	— 0.002
128	4 2	33° 58′	„	„	70	71	6.177	— 0.011
129	4 7	33° 16′	„	„	„	69	6.177	+ 0.006
130	4 12	32° 34′	„	„	75	72	6.160	— 0.004
131	4 17	31° 51′	„	2.85	„	73	6.150	— 0.006
132	4 22	31° 8′	„	„	„	70	6.132	— 0.016
133	4 27	30° 26′	„	„	80	78	6.151	+ 0.011
134	4 32	29° 43′	„	„	„	76	6.140	+ 0.009
135	4 37	29° 0′	„	2.90	85	80	6.121	— 0.001
136	4 43	28° 8′	„	„	„	78	6.110	0.000

Meteorologische Daten:
B = 770,2; T = 13,56 ° C; r. F = 69,3; W. R.: NNO; W. St.: 1,5; Bewölkung: Im NW Ci.

Berechnet: log A = 6,544;
Wahrscheinlicher Fehler: ± 0,002;
log p = 9,7954 — 10.

Tabelle 10.
20. Mai 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t''_1	t''_2	log S	Δ S
138	3h 6m	42° 47′	1	2.60	40	45	6.293	+ 0.006
139	3 13	41° 59′	„	2.55	„	41.5	6.275	— 0.008
140	3 21	40° 52′	„	„	„	42	6.280	+ 0.003
141	3 34	39° 8′	„	„	„	41.5	6.275	+ 0.008
142	3 41	38° 11′	„	„	„	40	6.259	— 0.002
143	3 50	36° 56′	„	„	„	39	6.248	— 0.005
144	4 0	35° 33′	„	2.60	45	46	6.251	+ 0.008
145	4 10	34° 8′	„	„	„	44.5	6.237	0.000
146	4 19	32° 52′	„	2.65	50	50	6.225	+ 0.007

Tabelle 10 (Fortsetzung).

Nr.	Z	h	D	m r	t_1''	t_2''	log S	Δ S
147	4h 29m	31° 26′	1	2.65	50	48.5	6.212	+ 0.004
148	4 39	29° 59′	„	„	„	46.5	6.194	+ 0.001
149	4 49	28° 32′	„	2.70	60	53	6.155	— 0.011
150	5 3	26° 30′	„	„	„	52	6.147	— 0.003
151	5 10	25° 29′	„	„	„	52.5	6.151	+ 0.016
152	5 19	24° 10′	„	„	„	47	6.103	— 0.011
153	5 30	22° 34′	„	2.75	70	54.5	6.084	— 0.011
154	5 40	21° 7′	„	„	„	48.5	6.034	— 0.021
155	5 50	19° 40′	„	2.85	80	60	6.037	+ 0.017
156	6 0	18° 13′	„	3.00	„	60.5	5.996	+ 0.016
157	6 7	17° 13′	„	3.10	90	64	5.941	— 0.006

Meteorologische Daten:
B = 768,8; T = 11,1° C; r. F = 66,3; W. R.: NO; W. St.: 2,4;
Bewölkung: Im SW Cu. nur wenig über dem Horizont.
Berechnet: log A = 6,549;
Wahrscheinlicher Fehler: ± 0,002;
log p = 9,8220 — 10.

Tabelle 11.
21. Mai 1901.

Nr.	Z	h	D	m r	t_1''	t_2''	log S	Δ S
158	4h 1m	35° 35′	1	2.60	45	43	6.222	+ 0.013
161	4 31	31° 19′	„	„	„	41.5	6.207	+ 0.036
162	4 39	30° 9′	„	2.70	50	47	6.182	+ 0.024
163	4 47	29° 0′	„	„	„	44	6.153	+ 0.009
164	4 55	27° 50′	„	„	„	41	6.123	— 0.007
165	5 3	26° 40′	„	„	„	37.5	6.084	— 0.029
166	5 11	25° 31′	„	2.80	60	46.5	6.067	— 0.029
167	5 19	24° 20′	„	„	„	44.5	6.048	— 0.028
168	5 27	23° 10′	„	„	„	43	6.033	— 0.021
169	5 35	22° 1′	„	„	„	39	5.990	+ 0.060
170	5 43	20° 51′	„	2.90	70	52.5	6.022	+ 0.018
171	5 51	19° 41′	„	„	„	50.5	6.005	+ 0.031
172	5 59	18° 32′	„	3.00	80	53	5.939	— 0.001
173	6 7	17° 23′	„	„	„	50	5.913	+ 0.011
174	6 15	16° 14′	„	3.10	90	54	5.867	+ 0.008

Meteorologische Daten:
B = 775,2; T = 12,0° C; r. F. = 63,0; W. R.: O; W. St.: 1,3;
Bewölkung: Am südwestlichen Horizont Cu.
Berechnet: log A = 6.533;
Wahrscheinlicher Fehler: ± 0.003;
log p = 9.8116 — 10.

Tabelle 12.
22. Mai 1901.

Nr.	Z	h	D	$\overset{m}{r}$	t_1''	t_2''	log S	log p berechnet
177	6h 34m	19° 4′	1	3.00	80	67	6.041	9.838
178	6 42	20° 13′	"	2.90	70.5	58.5	6.066	9.837
179	6 48	21° 5′	"	"	70	63	6.102	9.840
180	6 54	21° 57′	"	2.80	60	49	6.089	9.830
181	7 3	23° 16′	"	"	"	52	6.115	9.833
182	7 11	24° 26′	"	2.75	"	54	6.151	9.840
183	7 20	25° 44′	"	"	"	57	6.171	9.841
184	7 27	26° 46′	"	2.65	50	48	6.208	9.852
185	7 35	27° 56′	"	"	54	56	6.241	9.862
186	7 43	29° 5′	"	2.60	60	61.5	6.252	9.862
187	7 51	30° 15′	"	"	50	51	6.250	9.856
188	7 59	31° 24′	"	"	45	46.5	6.256	9.854

Meteorologische Daten:
B = 775,2; T = 10,2 ° C; r. F. = 51.7; W. R.: ONO; W. St.: 3.1; Bewölkung: 0.

Berechnet: log A = 6.657; log p = 9.794.

In dieser Tabelle sind in die letzte Kolumne die Transmissionskoeffizienten eingetragen, wie sie aus den einzelnen beobachteten Intensitäten nach der Lambert'schen Gleichung berechnet wurden, indem als Solarkonstante der Mittelwert der vorhergehenden Beobachtungsreihen genommen wurde. Augenscheinlich nimmt der Transmissionskoeffizient mit der Sonnenhöhe zu; daher das abweichende Ergebnis.

Eine Zusammenstellung der aus den Beobachtungen an den vier klarsten Tagen des Jahres 1900, sowie aus den Nachmittagsbeobachtungen dieses Jahres gefundenen Resultate ergiebt:

Datum	log A	log p	Anzahl der Beobachtungen
17. August 1900	6.522	9.8011—10	19
14. September 1900	6.523	9.8291	8
16. September 1900	6.525	9.8418	8
8. Oktober 1900	6.541	9.7808	10
21. April 1901	6.549	9.7815	25
22. April 1901	6.534	9.7804	17
24. April 1901	6.524	9.7550	14
13. Mai 1901	6.544	9.7954	11
20. Mai 1901	6.549	9.8220	20
21. Mai 1901	6.533	9.8116	15

Giebt man jedem log A, ebenso jedem Logarithmus p ein so grosses Gewicht, als die Anzahl der Beobachtungen an dem betreffenden Tage beträgt, so findet man im Mittel:

$$\log A = 6.5361;$$
$$\log p = 9.7962;$$

oder:

A = 3 435 000 Hefnerkerzen;
p = 0.6255;

d. h. 37.5 Prozent der für Bromsilber wirksamen Sonnenstrahlen gehen in der Atmosphäre durch Extinktion verloren.

Fehlerquellen.

Als erste Fehlerquelle bei den Beobachtungen muss wohl eine etwaige Ungenauigkeit in der Bestimmung der Expositionszeiten, zumal bei der Abschätzung der Belichtungsdauer der stufenförmigen Exposition angesehen werden. Bei der Belichtung durch die Sonne wurde Beginn und Schluss der Belichtung bewirkt durch Öffnen bezw. Schliessen der Klappe unter dem Diaphragma. Dies aber geschah nach einiger Übung stets mit solcher Sicherheit, dass sich höchstens ein Zeitfehler von ein Fünftel Sekunde einstellen konnte. Da die Belichtungsdauer im Mininum 40 Sekunden, an den meisten Tagen aber erheblich mehr betrug, so war der hierbei mögliche Fehler höchstens 0,5 Prozent, gewöhnlich aber geringer. Derselbe Fehler konnte eintreten bei der Belichtung durch die Hefnerkerze. Grössere Ungenauigkeit konnte sich aber einstellen bei der schätzungsweisen Bestimmung der Expositionszeit der stufenförmigen Belichtung. Diese Schätzung konnte aber immerhin sicher bis auf 2 Sekunden Genauigkeit geschehen. Es war also hier im ungünstigsten Falle bei 40 Sekunden Belichtungszeit ein Fehler von 5 Prozent möglich. Der Gesamtfehler, der bei der Bestimmung der Expositionszeiten auftreten konnte, betrug demnach im Maximum 6 Prozent.

Als ein weiterer Fehler bei den Beobachtungen könnte der angegeben werden, dass die Milchglasscheibe nicht allein vom direkten Sonnenlicht, sondern auch von einem Teile des diffusen Himmelslichtes aus der Nähe der Sonne bestrahlt wird, zumal dieses sehr viel blaues Licht enthält, also für Bromsilber besonders wirksam ist. Dies würde für die Berechnung des Transmissionskoeffizienten p ohne Einfluss sein, wenn das mit in Rechnung gezogene diffuse Licht nach demselben Gesetze variiren würde wie

das Sonnenlicht. Nun ist aber die lichtreflektierende Luftschicht, soweit sie für die Beobachtungen in Betracht kommt, bei niederem Sonnenstande dicker als bei höherem. Es wird daher bei geringen Sonnenhöhen mehr diffuses Licht mit in Rechnung gezogen als bei grösseren Höhen.

Wie schon früher bemerkt, ist die obere Öffnung des Tubus so klein gewählt, dass das Diaphragma ausser dem Lichte der Sonne nur noch von einem sehr kleinen Stücke des Himmelsgewölbes getroffen wird, dessen Inhalt sich aus der Grösse der Öffnung im Tubus und des Diaphragmas sowie aus der Höhe des Tubus ergiebt. Der das Diaphragma treffende Strahlenkegel hatte einen Schnittwinkel von 2.38, bezw. bei dem grössern Diaphragma von 2.42 Grad. Zwar hätte ich nach dem Vorgange von Bunsen und Roscoe durch eine ganz feine Öffnung ein Sonnenbild auf der Milchglasscheibe entwerfen und dadurch jedes diffuse Licht fernhalten können. Davon aber habe ich abgesehen aus dem Grunde, weil das Diaphragma in diesem Falle nur von einer bestimmten Stelle auf der Sonne beleuchtet würde, und die Helligkeit auf der Oberfläche der Sonne bekanntlich verschieden ist.

Aber auch so ist der Einfluss des diffusen Lichtes im Verhältnis zur direkten Sonnenstrahlung so gering, dass dasselbe ohne wesentlichen Fehler vernachlässigt werden konnte, wie folgende Versuche zeigten:

Stellte ich den Apparat bei halbgeöffneter Kassette auf das diffuse Licht dicht neben der Sonne ein unter Anwendung von Diaphragma 2 und exponierte dieselbe Zeit wie bei den Versuchen, so war überhaupt keine Schwärzung des Papiers gegenüber der nicht belichteten Hälfte wahrzunehmen.

Um aber doch einen angenäherten Wert für das Intensitätsverhältnis der Sonnenscheibe zu ihrer nächsten Umgebung zu bekommen, benutzte ich bei der Einstellung auf das diffuse Licht ein grösseres Diaphragma und erhielt auf diese Weise folgende Resultate:

Datum	Sonnenhöhe	S	D	%
2. November	20.5	635 800	372	0.06
3. „	20.5	769 100	294	0.04
3. „	19.5	749 900	397	0.05

Hierin bedeutet S die scheinbare Sonnenintensität, D ein angenäherter Mittelwert des diffusen Lichtes in der Nähe der Sonne. In letzter Kolumne ist D in Prozenten angegeben.

Ausserdem konnte eine ungenaue Einstellung der Hefnerkerze einen beträchtlichen Fehler in die Beobachtungen hineinbringen, da schon eine Differenz von 1 Millimeter in der Flammenhöhe einen Fehler von 3 Prozent bewirkt. Unter Benutzung des früher besprochenen optischen Flammenmasses wurde aber die Hefnerkerze stets bis auf wenigstens ein Drittel Millimeter Genauigkeit eingestellt, so dass der hierbei mögliche Fehler höchstens 1 Prozent betragen konnte.

Einen sehr bedeutenden Fehler im Resultat können die Schwankungen im Zustande der Atmosphäre bewirken, da für die Rechnung der Zustand der Atmosphäre während einer Beobachtungsreihe als konstant angenommen wurde. Nimmt der Transmissionskoeffizient p mit zunehmender Sonnenhöhe ab, so findet man bei Benutzung der Lambert'schen Gleichung die Solarkonstante und das Absorptionsvermögen der Luft zu klein. Der umgekehrte Vorgang findet statt, wenn log p mit der Sonnenhöhe zunimmt. Alsdann erhält man zu grosse Werte für die Solarkonstante und das Absorptionsvermögen der Atmosphäre, wie die Beobachtungsreihe vom Morgen des 22. Mai deutlich zeigt.

Eine geringe gleichmässige Verschleierung der Sonne lässt sich mit blossem Auge schon daran erkennen, dass die nächste Umgebung der Sonne heller erscheint als etwas weiter liegende Teile des Himmelsgewölbes. Bei völlig klarer Luft aber beobachtet man derartige Übergänge nicht. Das Vorhandensein von Wolken in der Nähe der Sonne kann man daraus abnehmen, dass man die Helligkeiten des diffusen Lichtes in gleicher Höhe rechts und links von der Sonne betrachtet. Befinden sich in der Nähe der Sonne Wolken, so sind die beobachteten Helligkeiten sehr verschieden. Um ohne Gefahr für das Auge die Umgebung der Sonne beobachten zu können, bediente ich mich eines roten Glases, wodurch ich die feinsten Wolkengebilde in der nächsten Nachbarschaft der Sonne alsbald erkennen konnte.

Des Weiteren ist die Durchlässigkeit der Atmosphäre für die Sonnenstrahlen bedingt durch den Feuchtigkeitsgehalt der Luft. Die Bestimmung desselben durch die üblichen Instrumente hat natürlich nur Gültigkeit für die unteren Luftschichten. Für diese

aber wechselt der Feuchtigkeitsgehalt im Laufe eines Tages ziemlich erheblich.

Schlussfolgerungen.

Aus den vorhin aufgeführten Beobachtungsreihen ergiebt sich das Resultat, dass die Lambert-Pouillet'sche Gleichung für die auf Bromsilber wirksamen Strahlen der Sonne, d. h. für die Strahlen von den Wellenlängen $\lambda = 460$ bis 415, ihre Bestätigung findet, dass also innerhalb der Grenzen der von mir angewandten Beobachtungsmethode der Logarithmus der chemischen Intensität des Sonnenlichtes an der Erdoberfläche eine lineare Funktion der Sekante der Zenithdistanz der Sonne ist. Die Lambert'sche Gleichung bietet uns also ein Mittel, die bei verschiedenen Sonnenhöhen beobachteten Intensitäten auf das Zenith zu reducieren. Denn die berechneten Abweichungen Δ S der einzelnen Beobachtungen liegen vollständig innerhalb der Grenzen der Beobachtungsfehler und sind gleichmässig nach beiden Richtungen verteilt.

Die für die Intensität A der Sonne ausserhalb der Atmosphäre gefundenen Werte stimmen befriedigend überein. Gleichwohl ist der gefundene Mittelwert nur eine Annäherung des wahren Wertes, der erst durch sehr zahlreiche Beobachtungen wird ermittelt werden können.

Der Transmissionskoeffizient p dagegen ist, wie die Zusammenstellung der Ergebnisse zeigt, auch an scheinbar klaren Tagen sehr verschieden. Im Gegensatze hierzu fand Michalke, dass für rote Strahlen die Durchsichtigkeit der Luft nahezu konstant sei. Mit dem für p gefundenen Mittelwerte 0.6255 stimmen ziemlich genau überein die Ergebnisse der Beobachtungen von Müller, der als Transmissionskoeffizienten p fand:

für Wellenlänge $\lambda = 462$: $p = 0.681$;
für Wellenlänge $\lambda = 442$: $p = 0.640$.

Desgleichen nähert sich der Mittelwert von p dem von M. Andresen für die auf Chlorsilber wirksamen Strahlen ermittelten Transmissionskoeffizienten 0.596.

Die Gültigkeit der Lambert'schen Gleichung stellt Langley für nicht völlig homogenes Licht in Zweifel. Wenn auch bei Beobachtung von weissem Licht die Lambert'sche Gleichung nicht mehr zu genauen Resultaten führen mag, so glaube ich doch, durch meine Beobachtungen nachgewiesen zu haben, dass für ein nicht zu grosses Gebiet des Spektrums die Lambert'sche Gleichung ihre

Berechtigung hat. Dass der Fehler bei Benutzung von nicht völlig homogenem Lichte nicht so gross ist, wie ihn Langley angiebt, darf ich wohl aus dem Umstande folgern, dass ich bei starken Unterschieden des Absorptionsvermögens der Atmosphäre von Tag zu Tag doch annähernd gleiche Werte für die absolute Intensität der Sonne erhielt. Wenn Langley annimmt, dass bei einem Strahlenkomplexe die Zunahme des aus der Lambert'schen Gleichung berechneten Transmissionskoeffizienten p der gesamten Strahlung um so grösser ist, je mehr die Koeffizienten der einzelnen Strahlen von einander abweichen, so wächst diese Verschiedenheit offenbar mit dem Wege der Strahlen durch die Atmosphäre. Es wird demnach der berechnete Transmissionskoeffizient der Gesamtenergie um so grösser ausfallen, je mehr sich die der Beobachtung zu Grunde gelegten Strahlen dem Horizonte nähern. Dies aber wird bei jeder Berechnung nach der Lambert'schen Gleichung zur Folge haben, dass wir den Transmissionskoeffizienten zu gross, die absolute Strahlungsenergie zu klein finden. Ebenso müsste der an Tagen mit starker Absorption berechnete Transmissionskoeffizient zu gross und daher aus doppeltem Grunde die Solarkonstante zu klein ausfallen. Bei den Beobachtungen ist dies aber keineswegs der Fall, trotz der an den verschiedenen Tagen stark wechselnden Absorptionsfähigkeit der Atmosphäre. Es wird also für den beobachteten Strahlenkomplex die Änderung von p bei verschiedenen Incidenzen so unbedeutend sein, dass die Lambert'sche Gleichung dadurch nicht in Frage gestellt wird.

Vita.

Ich, Karl Masch, bin geboren am 4. Juni 1873 zu Fürstenau in Hannover und im katholischen Glauben erzogen. Den ersten Unterricht empfing ich in der Elementarschule, hernach in der höheren Privatschule meines Heimatsortes. Ostern 1892 trat ich in die Obersekunda des Gymnasiums zu Meppen ein und bestand nach dreijährigem Besuche dieser Anstalt die Reifeprüfung. Zunächst studierte ich Theologie, wandte mich aber später dem Studium der Mathematik und Naturwissenschaften zu. Ich besuchte die Akademie in Münster und seit Michaelis 1898 die Universität in Kiel.

Meine Lehrer waren die Herren Professoren: Adickes, Biltz, Claisen, Deussen, Hagemann, Ketteler, Killing, Lehmann, Lenard, v. Lilienthal, Pochhammer, Stäckel und Weber.

An Seminarübungen bezw. Praktiken nahm ich bei folgenden Herren teil: Lenard, Pochhammer, Stäckel und Weber.

Seit Oktober 1900 bin ich als Assistent am hiesigen physikalischen Institut thätig.

Meinen sämtlichen Lehrern, vor allen jedoch Herrn Professor Weber, fühle ich mich zu grösstem Danke verpflichet.

Thesen.

1.

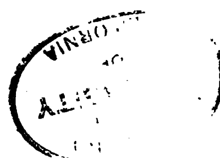
Die Tageslichtmessungen mittelst lichtempfindlicher Papiere sind den gewöhnlichen photometrischen Messungen mindestens gleichwertig.

2.

Längere Zeit andauernde konstante Witterung verzögert in der Regel bei auftretenden Maximis und Minimis den Umschlag des Wetters.

3.

Die Grundlehren der Chemie sind auf den humanistischen Gymnasien eingehender zu behandeln, als es bisher geschieht.



QC911
M3
133260